

Плотность двухфазного потока через сечение разгонной трубки составит

$$G_{df} = \frac{\sqrt{GG_t}}{F_3} = \frac{G\sqrt{\mu}}{F_3} = 119.8, \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2\text{)}. \quad (10)$$

Можно сделать оценку производительности и другим методом.

В работе [3] были проведены исследования по определению параметров эжектирования песка и получена экспериментальная зависимость, связывающая полное давление в начале разгонной трубки после камеры смешения и плотность двухфазного потока:

$$G_{df} = 340.12P_2^{*0.3523}. \quad (11)$$

Расчет по приведенной зависимости, показывает, что плотность двухфазного потока составит  $G_{df}=169,5 \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2\text{)}$ . Это несколько выше результата предыдущего расчета. Объясняется отличие необходимостью определения опытным путем коэффициента Гастерштадта. В целом обе методики согласуются между собой.

#### *Библиографический список*

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика: учеб. руководство для вузов: в 2 ч. / Г. Н. Абрамович. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1991. 600 с.
2. Шишкин А.С. Решение инженерных задач в Excel: учебное пособие / А.С. Шишкин, С.Ф. Шишкин. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 365 с.
3. Шишкин С.Ф. Процесс эжектирования твердых частиц в струйной мельнице: Доклад на международной научно-технической конференции «Физико-химия и технология оксидно-силикатных материалов» / С.Ф. Шишкин, А.С. Шишкин // Вестник УГТУ (Екатеринбург). 2000. № 1. С. 230-233.

## **СИНТЕЗ АЛЮМОМАГНЕЗИАЛЬНОЙ ШПИНЕЛИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ВТОРИЧНОГО АЛЮМИНИЯ**

*Баяндина М.А., Баяндина Т.В., Земляной К.Г.  
УрФУ, bmasha07@mail.ru*

Отходы производства вторичного алюминия (ОПВА) – это продукт переработки отвальных шлаков, образующихся при плавке вторичного алюминия. Перерабатывают отвальные шлаки с целью извлечения из него металлического алюминия. После извлечения металлического алюминия образуются тонкодисперсные отходы, которые складировать в отвалы из-за отсутствия рациональной технологии утилизации. Таких отходов только в Российской Федерации накопилось около 50 млн т, а на Урале – почти 2,5 млн т.

Отвалы занимают сотни гектаров плодородных земель. Под воздействием атмосферных осадков тонкодисперсные отходы быстро разлагаются, выделяя токсичный газ – аммиак, а соли, содержащиеся в них, растворяясь, загрязняют почву, поверхностные и подземные воды. Тонкодисперсные частицы отходов легко поднимаются ветром и переносятся на значительные расстояния, загрязняя как атмосферу, так почву и водоемы. Это наносит экологический вред окружающей среде и экономический ущерб России за счет отчуждения больших площадей земли и потерь ценного минерального сырья.

ОПВА являются достаточно ценным сырьем, так как содержат большое количество оксида алюминия. Содержание оксида алюминия в ОПВА достигает 60 %, поэтому ОПВА можно рассматривать как сырье для огнеупорной промышленности, а именно, как источник оксида алюминия для синтеза алюмомагнезиальной шпинели.

В настоящей работе были исследованы отходы производства вторичного алюминия, образующиеся при вторичной переработке алюминий-содержащих шлаков Сухоложского завода «Вторцветмет».

Отходы производства вторичного алюминия представляют собой порошок серого цвета, гранулометрический состав которого представлен в основном частицами размером менее 0,063 мм. Химический состав ОПВА приведен в таблице.

Усредненный химический состав ОПВА

Массовая доля компонентов, %									
Al <sub>мет</sub>	AlN	NaCl + KCl	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Δm <sub>прк</sub>
2,74	2,11	14,23	5,82	43,92	9,15	4,85	2,62	0,81	13,75

По данным рентгенофазового анализа, ОПВА представлены хлоридом калия KCl (d, Å: 3,15; 2,22, хлоридом натрия NaCl (d, Å: 2,83; 2,00; 1,630; 1,264), гиббситом Al(OH)<sub>3</sub> (d, Å: 4,85; 2,43; 1,92; 1,574), корундом α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (d, Å: 3,47; 2,55; 2,09; 1,602; 1,371), алюмомагнезиальной шпинелью MgO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (d, Å: 2,02; 1,556; 1,428), алюминием металлическим (d, Å: 2,33; 1,221), β-глиноземом (d, Å: 3,66; 1,153), γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (d, Å: 2,38; 1,817), алюминатом натрия Na<sub>2</sub>O·11Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (d, Å: 3,27).

Электронно-микроскопическими исследованиями подтверждено наличие хлоридов калия и натрия, корунда, металлического алюминия, алюмомагнезиальной шпинели, β-глинозема, а также были определены кварц, углеродсодержащие частицы.

Химический и минеральный состав ОПВА показывает, что наряду с оксидом алюминия, ОПВА содержит до 20 % соединений щелочных металлов, что препятствует их утилизации. Удалить соединения щелочных металлов можно гидрометаллургическим (выщелачиванием) или пирометаллургическим способами.

Гидрометаллургическим способом невозможно снизить содержание хлоридов щелочных металлов менее 0,5 %, а щелочных оксидов – менее 3 %. Такое содержание щелочных оксидов неприемлемо для получения огнеупорных материалов.

Пирометаллургический способ позволяет полностью удалить хлориды щелочных металлов из ОПВА, но снизить содержание оксидов щелочных металлов менее 3 % не удастся, т.к. при термообработке ОПВА образуется β-глинозем, наличие которого подтверждено методами рентгенофазового и петрографического анализов. Снизить содержание оксидов щелочных металлов

невозможно без разрушения кристаллической решетки  $\beta$ -глинозема. Для ее разрушения необходимо введение в шихту основных оксидов. Наиболее благоприятной добавкой является каустический магнезит в количестве более 25 %. Это обеспечивает не только разрушение кристаллической решетки  $\beta$ -глинозема, но и образование алюмомагнезиальной шпинели.

При обжиге ОПВА с каустическим магнезитом протекают следующие процессы: при температуре 900 °С начинается образование алюмомагнезиальной шпинели; в интервале температур 900-1300 °С отмечается полное удаление хлоридов щелочных металлов; основное количество шпинели образуется в интервале температур 1300-1680 °С; процесс шпинелеобразования заканчивается при 1680 °С.

Процесс шпинелеобразования с предварительно отмытыми от солей ОПВА, как показали исследования, начинается при температуре 1100 °С, а завершается при температуре 1850 °С. Следовательно, наличие хлоридов щелочных металлов в ОПВА оказывает положительное влияние на процесс шпинелеобразования, снижая температуру синтеза алюмомагнезиальной шпинели.

Таким образом, пирометаллургический способ позволяет совместить удаление соединений щелочных металлов с синтезом алюмомагнезиальной шпинели в присутствии добавки каустического магнезита. Проведенные исследования показали, что на основе отходов производства вторичного алюминия и каустического магнезита можно синтезировать алюмомагнезиальную шпинель. Это позволит расширить минерально-сырьевую базу огнеупорной промышленности и улучшить экологическую ситуацию в Уральском регионе.

## **ОБРАБОТКА ХИМИЧЕСКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

*Беляев М. А., Царев Н. С.  
УрФУ, nstzar@gmail.com*

Цветная металлургия является одной из наиболее материало- и энерго-емких отраслей промышленности, поэтому проблема ресурсосбережения является весьма актуальной. Сточные воды, образующиеся практически во всех производственных процессах, представляют собой важный вторичный материальный ресурс, использование которого в конечном итоге позволяет сократить расход свежей воды в масштабах металлургических предприятий. Кроме того, сточные воды некоторых технологий содержат ценные примеси, извлечение которых различными способами обогащает номенклатуру выпускаемой предприятиями продукции.

В данной работе нами рассмотрены особенности нейтрализации и очистки химически загрязненных сточных вод процессов получения магния, титана, ниобия и тантала.

При переработке карналлита, лопарита, пирохлора и других минералов осуществляют очистку технологических газов от хлора ( $\text{Cl}_2$ ), хлороводорода ( $\text{HCl}$ ), фосгена ( $\text{COCl}_2$ ), оксида углерода ( $\text{CO}$ ), диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) и дру-